実験トランジスタ・アンプ設計講座

黒田 徹

●実用技術編

第10章 回路シミュレータSPICE入門（33）

6 C 33 C Circlotron アンプ

第1図は7月号p.138で紹介しましたCirclotronアンプです．負荷250Ωは出力管の両カソード間に接続され，負荷の中点を接地しています．このアンプの負荷は，中点タップつきボイス・コイルのスピーカ想定していますが，このののようなスピーカは自作か特注になります．そこで，今回は一般的な8Ωのスピーカを負荷とするCirclotron方式OTLアンプを設計しましょう．

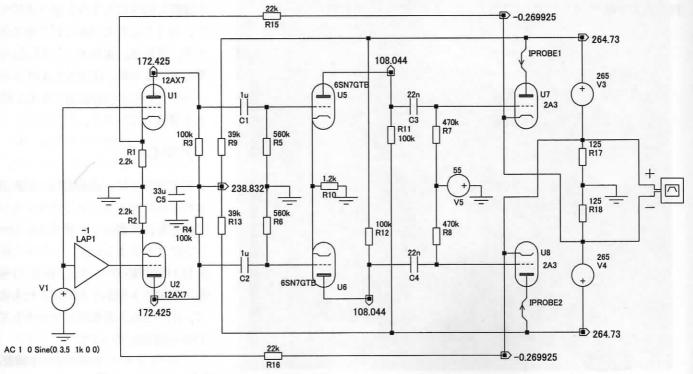
Circlotron方式OTL出力段の原理回路を**第2図**に示します．V_3とV_4は100Vのフローティング電源です．出力管は8月号でご紹介した6C33Cです．V_2とV_5はグリッド・バイアス電圧（＝−25V）で，動作階級はAB_2です．R_3とR_4は無信号時のカソード電位を0Vにするための抵抗で，R_3とR_4の中点を接地します．

(1) R_3, R_4の値とひずみ率の相関

(R_3+R_4)は負荷＝8Ωと並列に入るので，値が小さいとパワー・ロスが増えます．とりあえず1kΩにしてみました．**第2図**の回路に片ピーク振幅＝100Vの1kHzサイン波を入力したときの出力電圧（6C33Cのカソード〜カソード間電圧）のシミュレーション波形を**第3図**に示します．少しひずんでいるようです．

SIMetrixのMeasure機能により，

- ひずみ率＝3.01％
- 出力電圧＝21.37 V_{RMS}
- 出力電力＝57W

ということがわかります．ひずみ率

〈第1図〉Circlotron方式OTLアンプ回路例．負荷は250Ω中点タップつきボイス・コイルのスピーカを想定

項目	2SA1546	2SC4001	単位
V_{CB}	−250	300	V
V_{CE}	−250	250	V
V_{EB}	−5	5	V
h_{FE}	150	200	
f_T	300	300	MHz
$C_{ob}(V_{CB}=30\,V)$	3.3	2.8	pF
$P_C(T_C=25°C)$	7	7	W

〈第1表〉2 SA 1546 と 2 SC 4001 の主要規格（NEC データ・シートより）

〈第10図〉第9図のアンプの周波数特性

〈第11図〉1 kHz, 出力 55.6 W時の 6 C 33 C のプレート電流波形．B級動作に近いことがわかる

- 出力電圧＝26.98 V_{RMS}
- 出力電力＝91 W
- ひずみ率＝0.871%

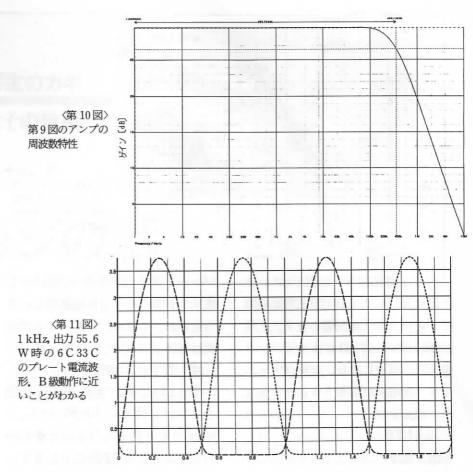
と，特性が大幅に改善されています．

全段直結 Circlotron OTL アンプ

第7図の出力段に電圧増幅段を加えた全段平衡増幅器を**第9図**に示します．電圧増幅器の電源電圧は±100 V です．電圧増幅部は差動2段構成で，Q_7，Q_8，Q_9，Q_{10} はカスコード・トランジスタです．

D_1，D_2 は過大入力時に Q_3，Q_4 のベース・エミッタ接合のブレーク・ダウンを防ぎます．通常動作時は D_1，D_2 は非導通です．

Q_9，Q_{10} には 2 SC 4001 とコンプリの 2 SA 1546（NEC，**第1表**参照）を用いました．

(1) 6 C 33 C のグリッド・バイアス電圧

6 C 33 C の無信号グリッド・バイアス電圧 V_{bias} は近似的に次式で与えられます．

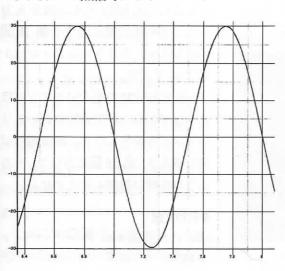
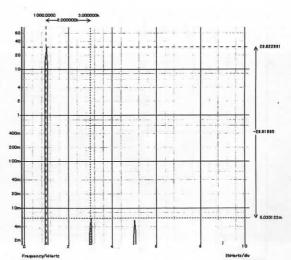
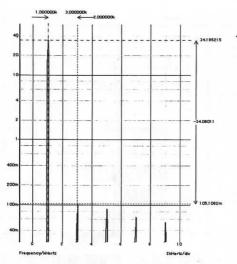
$$V_{bias}=(I_{C10}-I_3)R_7-0.6 \quad \cdots\cdots (10\text{-}98)$$

$I_{C10}=7.5\text{mA}$，$I_3=10\text{mA}$，$R_7=11\text{k}\Omega$ を(10-98)式に代入すると，V_{bias} は約−28.1 V と算出されます．シミュレーションのグリッド・バイアス電圧 V_{bias} は，

$$V_{bias}=-32.41-(-4.72)=-27.9[\text{V}]$$

となっています（**第9図**参照）．計算値と約 0.4 V の誤差があります．これは Q_1 のベース電流の影響です．なお，R_7，R_8 は2段目の負荷抵抗で，出力段のカソードからブート・ストラップされています．

出力段 U_1 のカソード電位が−4.72 V になるのは，R_7 を流れる電流，R_{14} を流れる電流，Q_1 コレクタ電流などが R_{18} の中を流れるためです．

◀〈第12図〉第9回アンプの出力電圧波形

〈第13図〉▶ 第12図の波形のフーリエ解析結果（P_3＝0.02%）

◀〈第 14 図〉
ノン・クリップ最大出力時のフーリエ解析結果

〈第 15 図〉▶
10 kHz 1 V を入力したときの出力電圧波形のフーリエ解析結果

ドライブ段 2 SC 4001 のコレクタに挿入した 470 Ω は，出力短絡時にコレクタ電流を制限します．正常動作時には，470 Ω によってコレクタ電流が減少したり，コレクタ・エミッタ間電圧が飽和することはありません．

(2) NFB

出力電圧は，R_{14} と R_{15} を経由して 2 SK 150 ソースにフィードバックしています．2 SA 1015 のベース～2 SA 1546 のレクタに接続した C_1，C_2 は位相補償容量です．第 9 図のアンプの周波数特性を第 10 図に示します．－3 dB カットオフ周波数は約 360 kHz です．

(3) 6 C 33 C のプレート電流波形

片ピーク振幅＝1 V の 1 kHz サイン波を入力したときの C 33 C の

プレート電流波形を第 11 図に示します．B 級に近い AB 級動作ということがわかります．アイドリング電流は 210 mA です．

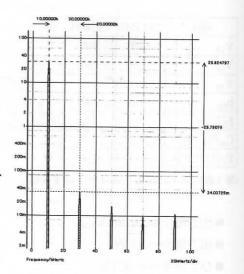
(4) ひずみ率特性

① 1 kHz のひずみ率：第 9 図のアンプに片ピーク振幅＝1 V，1 kHz サイン波を入力したときの出力電圧波形を第 12 図に示します．出力電圧は 21.09V_{rms} で，出力電力は 55.6 W です．出力電圧のフーリエ解析結果を第 13 図に示します．

●1 kHz 成分＝29.82 V

●3 kHz 成分＝6.0 mV

となっています．したがって，第 3 調波ひずみ率は 0.020％です．

第 9 図のアンプに片ピーク振幅＝1.15 V，1 kHz サイン波を入力したときの出力電圧のフーリエ解析結果を第 14 図に示します．

●1 kH 成分＝34.18 V

●3 kHz 成分＝105.1 mV

となっています．出力電力 P_0 は，

$$P_0=\frac{34.18\times34.18}{2\times8}=73[W]$$

です．これがノンクリップ最大出力電力です．第 3 調波ひずみ率は 0.31％です．

② 10 kHz のひずみ率：第 9 図のアンプに片ピーク振幅＝1 V，10 kHz サイン波を入力したときの出力電圧波形のフーリエ解析結果を第 15 図に示します．

●10 kHz 成分＝29.82 V

●30 kHz 成分＝34.03 mV

したがって，出力電力＝55.6 W 第 3 調波ひずみ率＝0.114％です．

(5) オーバーロード時の出力波形

第 9 図のアンプに片ピーク振幅＝1.2 V，10 kHz サイン波を入力したときの出力電圧波形を第 16 図に示します．クリッピング・レベルは±34 V です．

一般に安定性の不十分なアンプはクリップからの回復過程においてリンギングを発生したり，回復過程が長引きます．第 16 図において，そのような兆候は微塵も見えません．

〈第 16 図〉
10 kHz のオーバロード時の出力電圧波形

◆引用文献

2 SA 1546/2 SC 4001 データ・シート (NEC)